拖曳倾斜式海流计校准规范

（征求意见稿）

编制说明

自然资源部南海海域海岛中心

（自然资源部南海标准计量与信息中心）

二〇二三年十二月

目 录

[1 工作简况 2](#_Toc1338866626)

[1.1 任务来源 2](#_Toc997729916)

[1.2 调研情况 2](#_Toc1294382436)

[1.2.1 被校仪器调研 2](#_Toc676257742)

[1.2.2 校准方法调研 3](#_Toc1380409870)

[1.3 主要工作过程 4](#_Toc1282846549)

[2 规范制定的背景、意义和主要效益 4](#_Toc66133163)

[3 规范编写原则、依据和主要内容 5](#_Toc1251025042)

[3.1 编写原则 5](#_Toc2112976764)

[3.2 编写依据 5](#_Toc2010885756)

[3.3 主要内容 6](#_Toc2006748253)

[4 实验验证和不确定度评定情况 6](#_Toc1187212036)

[4.1 实验验证情况 6](#_Toc1202124775)

[4.2 不确定度评定情况 6](#_Toc584942449)

[5 采用国际建议、国际文件、国际标准或国内标准等的情况 6](#_Toc2095088024)

[6 规范重要内容的说明 6](#_Toc2002543156)

[6.1 规范名称的确定说明 6](#_Toc1379107108)

[6.2 范围的确定说明 7](#_Toc862162085)

[6.3 关于引用文件的说明 7](#_Toc1285996286)

[6.4 关于术语和计量单位的说明 7](#_Toc1464155394)

[6.5 计量性能的确定说明 7](#_Toc44595985)

[6.6 校准条件的确定说明 8](#_Toc52927092)

[6.6.1 环境条件 8](#_Toc487405386)

[6.6.2 测量标准及其他设备 8](#_Toc1319692844)

[6.7 校准项目的确定说明 11](#_Toc866522892)

[6.8 校准方法的确定说明 12](#_Toc1563635537)

[6.8.1 校准前准备 12](#_Toc1265082020)

[6.8.2 流向示值误差和正、反行程差 12](#_Toc2145404840)

[6.8.3 流速示值误差和流速示值误差重复性 12](#_Toc1568712750)

[6.9 复校时间间隔建议的确定说明 13](#_Toc698455031)

[参考文献 14](#_Toc788091515)

编写说明

1 工作简况

1.1 任务来源

《拖曳倾斜式海流计校准规范》是《全国海洋专用计量器具计量技术委员会关于下拨2020年度国家计量技术规范制定、修订经费补助的通知》（国海专技委函〔2020〕3号）的任务安排，由自然资源部南海海域海岛中心（自然资源部南海标准计量与信息中心）、自然资源部南海局保障中心负责本规范的起草，自然资源部东海发展研究院（自然资源部东海标准计量中心）、自然资源部北海发展研究院（自然资源部北海标准计量中心）和中国海洋大学为参与起草单位，全国海洋专用计量器具计量技术委员会（以下简称海计委）为归口单位。

1.2 调研情况

1.2.1 被校仪器调研

拖曳倾斜式海流计是基于拖曳倾斜原理的海流测量设备。近年来，国际上有数个独立的团体开展过拖曳倾斜式海流计的研发[1][2][3]，如美国罗德岛大学依托美国国家海洋和大气管理局（NOAA）志愿船计划（eMOLT）设计的拖曳倾斜式海流计“海马”等。然而，通过调研发现，市面上已具一定生产和销售规模的仅有美国Lowell仪器公司的TCM-X系列拖曳倾斜式海流计和澳大利亚詹姆斯库克大学的Marotte HS拖曳倾斜式海流计。TCM-X系列拖曳倾斜式海流计由Lowell仪器公司与“海马”开发者合作研发，以寻求更长的记录时间和更广的使用场景；Marotte HS拖曳倾斜式海流计对壳套进行了改良设计，可减少高流速时的涡流形成、增加低流速时的灵敏度，亦已被广泛使用。目前市面上拖曳倾斜式海流计的生产厂家、规格型号和主要计量性能等见表1。

表1 拖曳倾斜式海流计信息一览表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 仪器厂家 | 规格/型号 | 测量范围 | 最大允许误差 |
| 詹姆斯库克大学 | Marotte HS | 流速：(0.05～120)cm/s  流向：(0～360)° | 流速：  ±5cm/s（当v＜10cm/s时）  ±3cm/s（当10cm/s＜v≤70cm/s时）  ±6cm/s（当>70cm/s时）  流向：  当记录周期为10s时，  ±45°（当*v*＜15cm/s时）  ±10°（当15cm/s＜*v*≤60cm/s时）  ±5°（当*v*＞60cm/s时）；  当记录周期为1s时，  ±45°（当*v*＜15cm/s时）  ±20°（当*v*≥15cm/s时） |
| 美国Lowell仪器公司 | TCM-1 | 流速：  分为(0～40)cm/s和  (0～80)cm/s两档  流向：(0～360)° | 流速：  (0～40)cm/s档位时，±2cm/s+3%读数；  (0～80)cm/s档位时，  ±3cm/s+3%读数  流向：±5°（当*v*＞5cm/s时） |
| TCM-3 | 流速：(0～80)cm/s  流向：(0～360)° | 流速：±3cm/s+3%读数  流向：±5°（当*v*＞5cm/s时） |
| TCM-4 | 流速：(0～50)cm/s  流向：(0～360)° |
| TCM-5 | 流速：(0～50)cm/s  流向：(0～360)° |

目前，拖曳倾斜式海流计已被世界各国的科学家和工程师应用于遍布四大洲的珊瑚礁、锚地、峡湾、渔场、深海热泉等场景的海流监测；在国内，中国科学院南海海洋研究所、南方海洋科学与工程广东省实验室、自然资源部第一海洋研究所、中国海洋大学、上海海洋大学、华东师范大学等机构或科研院所亦有使用。

1.2.2 校准方法调研

经调研，国内目前尚无拖曳倾斜式海流计的量值溯源法规。海流测量领域的量值溯源法规，现已有国家计量技术法规JJG 628-2016 《SLC9型直读式海流计检定规程》、JJG 1166-2019《声学多普勒海流单点测量仪检定规程》和部门计量技术法规JJG（交通）138-2017《声学多普勒流速剖面仪检定规程》。我国现有具备海流测量设备检定装置的海洋专业计量站有三家，分别为国家海洋计量站广州分站、国家海洋计量站上海分站、国家海洋计量站青岛分站。

国际上，拖曳倾斜式海流计的量值溯源方法尚未有国际法制计量组织(OIML)发布的国际计量技术法规。在仪器实际使用过程中，使用者常通过与声学多普勒流速剖面仪、声学多普勒海流单点测量仪等仪器直接比对，以验证拖曳倾斜式海流计测得量值的准确性[2][4][5][6]，但对拖曳式原理海流计的量值溯源研究仍不充分，未形成统一的量值溯源方法。

1.3 主要工作过程

2018年-2019年，在综合多年以来对大量声学、旋桨式海流计的使用及检定的经验基础上，开展了拖曳倾斜式海流计校准的预研，赴国家海洋计量站上海分站开展了流速、流向校准的预实验；递交的拖曳倾斜式海流计校准规范《国家计量技术法规项目计划任务书》通过项目审查会审议。

2020年，海计委下达《关于下拨2020年度国家计量技术规范制定、修订经费补助的通知》，项目获正式批复，组建规范编写组；设计并搭建拖曳倾斜式海流计流向校准实验装置；搭载国家海洋计量站广州分站的海流计流速检定装置，设计并搭建拖曳倾斜式海流计流速校准实验装置。

2021年，完成拖曳倾斜式海流计流速校准实验验证；结合拖曳倾斜式海流计流向校准实验装置的验收，开展校准规范编制咨询会；赴广州计量检测技术研究院开展拖曳倾斜式海流计流向校准实验装置量值溯源方法调研。

2022-2023年，完成拖曳倾斜式海流计流向校准实验验证，开展不确定度评定，完成《拖曳倾斜式海流计校准规范》（征求意见稿）、校准结果不确定度评定报告、实验验证报告、编写说明等文件的编制。

2 规范制定的背景、意义和主要效益

海流是重要的海洋水文要素，海流的测量是海洋自然资源调查的重要内容，油气开发、港口建设、海上运输、海底矿产开发、海洋捕捞和养殖业等海洋资源开发活动皆需掌握海流的长期变化规律。因此，海流测量仪器所测得的海流数据的准确程度直接影响海洋调查活动的质量。

拖曳倾斜式海流计作为一种新型的自容式海流测量器具，具有易于布放、体积小巧、价格低廉、扰动小、噪音低等特点，便于同时布放于大量观测点，获取短期或长期的、连续的海底底流流场数据，从而得到海底单点或成片海域的海流变化规律，对于珊瑚礁调查、底栖生物调查所需的底流流场数据的获取具有其他类型海流计无法比拟的优势，势必在我国海洋调查与监测中发挥更大作用。然而，由于缺乏量值溯源方法，目前拖曳倾斜式海流计只能通过与较为常见的机械原理海流计、声学原理海流计进行比测的方式粗略判断测量结果的准确性，无法通过不间断的比校链、将海流流向量值逐级溯源至国家或国际计量基准，所得测量值可靠性无法保证。

本规范的制定，填补了国内拖曳倾斜式海流计量值溯源方法的空白，为拖曳倾斜式海流计在国内的开发和使用铺设道路，保障我国在海洋资源调查、开发与保护领域不脱离于国际潮流。

此外，本规范在流向量值溯源方面，突破了传统上仅对设备的角度指示器（如刻度盘等）的准确度进行溯源、或溯源至可能随时间和地点改变的磁北方向的溯源方式，将拖曳倾斜式海流计流向溯源至真北方向，进一步保障了拖曳倾斜式海流计流向量值的准确性。本规范的制定遵循经济合理原则，流向量值溯源采用海洋测绘领域常备的定位设备、测距设备作为测量标准和配套设备，较采用陀螺经纬仪、光罗经等设备作为真北方向的标准器更为合理、经济、实用；而流速校准装置的设计，也将国内海洋专业计量站的现有装置充分纳入考虑，充分利用了现有的计量设施条件。

3 规范编写原则、依据和主要内容

3.1 编写原则

本规范的编写遵循以下原则：

1. 符合国家有关法律、法规的规定，并与相关规范和标准协调统一；
2. 适用范围明确，在界定的范围内、按需要力求完整；
3. 结合我国的国策、国情，结合国内生产单位的生产实际，规定的内容切实可操作；
4. 充分考虑技术和经济的合理性，并为采用最新技术留有空间。

3.2 编写依据

本规范主要依据JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》制定，术语和定义部分引用了GB/T 12763.2-2007《海洋调查规范第2部分 海洋水文观测》和JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》，部分内容参考了JJG 628-2019《SLC9型直读式海流计检定规程》和JJG 1166-2019《声学多普勒海流单点测量仪检定规程》，不确定度评定依据JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》开展。

3.3 主要内容

按照JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》要求，本规范由以下内容构成：封面、扉页、目录、引言、范围、引用文件、术语和计量单位、概述、计量特性、校准条件、校准项目和校准方法、校准结果表达、复校时间间隔、附录。

4 实验验证和不确定度评定情况

4.1 实验验证情况

采用本规范所描述的校准步骤和操作，对编号为B1574的Marotte HS型拖曳倾斜式海流计进行校准。流速验证实验于2021年11月30日在广州市中山大学试验水池开展，流向验证实验于2023年3月28日在广州分站海流实验室开展。经实验验证认为本规范制定的内容合理、步骤切实可操作。具体实验过程和实验记录见《拖曳倾斜式海流计校准规范（征求意见稿）实验报告》。

4.2 不确定度评定情况

本规范的校准结果不确定度评定依据JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》开展，通过实验、分析和计算得出了流速、流向各校准点的扩展不确定度，认为不确定度的评定结果满足校准结果的使用要求。具体评定过程和结果见《拖曳倾斜式海流计校准规范（征求意见稿）测量结果不确定度评定报告》。

5 采用国际建议、国际文件、国际标准或国内标准等的情况

本规范的制定填补了国内在拖曳倾斜原理海流计量值溯源方法方面的空白，使今后相关仪器的校准有章可循。本规范与各类相关“国内标准”相兼容。经查询，拖曳倾斜式海流计的量值溯源方法尚未有国际法制计量组织（OIML）发布的国际计量技术法规，没有相关的“国际建议”、“国际文件”、“国际标准”。

6 规范重要内容的说明

6.1 规范名称的确定说明

本规范名称由所校准仪器的测量原理给出。拖曳倾斜式海流计采用拖曳倾斜原理对海流流向、流速进行测量，即当有海流时，水的运动对仪器施加一个拖曳力将其倾斜，直到浮力、拖曳力和系绳力三力平衡，此时仪器倾斜的角度与海流流速成正比，倾斜的方向为海流流向。利用仪器内置的加速计记录倾斜角度、磁力计记录倾斜方向，经数据处理将其转换为当前海流的流速和流向。

本规范中定义的“拖曳倾斜式海流计”，即为工作原理为拖曳倾斜原理的这类海流计；其英文翻译（drag-tilt sea current meters）为“拖曳倾斜式海流计”的直译，亦符合仪器原版说明书中给出的英文名称。

6.2 范围的确定说明

本规范的适用范围为拖曳倾斜式海流计的校准。拖曳倾斜式海流计为一种新型的海流计，相较于以往较为常见的转子式机械原理海流计、声学原理海流计等海流测量仪器，具有易于操作、便于布放、体积小巧、价格低廉、扰动小、噪音小等特点，有利于同时布放于较多观测点，得到短期或长期的、连续的海底底流流场数据。考虑到此类型海流计问世时间较短，仍处于快速发展时期，本规范未对仪器的型号和测量范围等作出规定，为仪器一段时间内的技术发展留足空间。

6.3 关于引用文件的说明

本规范引用的文件是规范中必不可少的文件，如不引用，规范则无法实施。

本规范尽可能引用国家基础规范或标准，发挥基础规范或标准的功能。

6.4 关于术语和计量单位的说明

本规范明确了流速、流向的计量单位和符号。本规范涉及的术语，在JJG 1001-2001《通用计量术语及定义》、GB/T 15920-2010《海洋学术语 物理海洋学》已作出规定，故仅作引用，未一一给出规范所涉及术语的定义。

6.5 计量性能的确定说明

本规范中规定校准的计量特性须满足：1) 在标准条件下评价被校设备的性能的需要；2) 在使用条件下评估最终测量结果不确定度的需要。依据上述原则，参考GB/T 12763.2-2007《海洋调查规范 第2部分：海洋水文观测》的“7 海流观测”中规定的海流的主要观测要素和计量特性，并参考JJG 628-2019《SLC9型直读式海流计检定规程》和JJG 1166-2019《声学多普勒海流单点测量仪检定规程》，提出了流向示值误差、流向重复性（流向正、反转示值差）、流速示值误差、流速测量重复性4个计量性能。

为满足不同使用场景和使用需求，不同厂家、型号的海流计的工作范围和对应计量性能差别较大，由海流计使用者根据仪器的实际工作用要求使用校准结果。

6.6 校准条件的确定说明

6.6.1 环境条件

校准的环境条件是对测量结果有影响的环境条件。本规范给出的环境条件要求根据以下原则给出：

首先须满足校准活动中测量标准和其他设备、被校对象正常工作所必需的环境条件。各个厂家、型号的海流计说明书未给出海流计工作环境要求。测量标准和其他设备的工作环境条件参考JJG 628-2019《SLC9型直读式海流计》和JJG 1166-2019《声学多普勒海流单点测量仪》的有关要求、结合测量标准和其他设备计量溯源时的检定条件可得。此外，由于海流计流向的测量原理为通过磁力计测量磁场的方向，须规定开展流向校准时周围不应有影响海流计正常工作的磁场。

同时，为了使环境条件引入的不确定分量足够小，须建立较稳定的室内校准模拟环境，降低环境因素对标准器及被校对象带来的影响，避免较低湿度下静电对仪器测量的影响等。

6.6.2 测量标准及其他设备

根据JJF 1094-2002 《测量仪器特性评定》的要求，示值误差的扩展不确定度*U*与被评定仪器的最大允许误差MPE的绝对值应满足不大于1:3的关系（以下简称“1/3原则”）。本规范根据海流计的计量性能要求，同时兼顾经济合理的原则，确定了校准所需要的测量标准和其他设备。每个计量标准器和主要配套设备选取的考虑如下：

1. **测地型GPS接收机**

作用和用法：流向计量标准器之一，用以确定真北方向。通过测量两点的经纬度坐标，可通过计算求得两点连线与真北方向的夹角（即坐标方位角），从而反演得到真北方向。

主要计量技术性能等要求：最大允许误差不大于(20.0mm+1.0×10-6×D)，D单位为km。

要求确定原因：流向示值误差校准结果的测量不确定度最主要来源识别为测地型GPS接收机和方位盘的测量不确定度。根据海流计说明书，在各个流速范围中流向的MPE标称值为5°至45°。通过调研市面上主流品牌与型号的测地型GPS接收机，实时动态水平测量的标称准确度最大为(20.0mm+1.0×10-6×D)（D单位为km），若以该值为测地型GPS接收机的MPE，其与方位盘共同贡献的计量标准不确定度满足“1/3原则”，兼顾经济合理的原则。

1. **方位盘**

作用和用法：流向计量标准器之一，用以确定流向转动经过的角度的标准值，从而可结合已确定的真北方向，给出流向标准值。

主要计量技术性能等要求：a) 材质为无磁材料；b) 测量范围为(0～360)°，0°指向真北方向；c) 分度值为0.1°；d) 最大允许误差不大于0.5°；e) 配有可固定装载海流计的转盘。

要求确定原因：a) 由于海流计流向的测量原理为通过磁力计测量磁场的方向，须规定标准器为无磁材料，以保证开展流向校准时周围无影响海流计正常工作的磁场；b) 测量范围须与海流计的工作范围保持一致；c) 根据海流计流向示值的分辨力确定标准器的分辨力；d) 根据海流计说明书，在各个流速范围中流向的MPE标称值为5°至45°；当规定最大允许误差不大于0.5°时，其与测地型GPS接收机共同贡献的计量标准不确定度小于MPE绝对值的1/3，满足“1/3原则”，兼顾经济合理的原则；e) 须将海流计固定安装于方位盘上，保持稳定，避免相对位移，确保方位盘转动过的角度与海流计转动过的角度一致。

1. **全站仪**

作用和用法：流向主要配套设备，用于将真北方向引入室内实验室。为确保海流计流向示值的准确和稳定，须于室内实验室中开展校准，以保证校准环境的条件的稳定性，避免周边磁环境影响磁力计工作。由于在室内环境中，定位系统无法接收卫星信号，须通过全站仪分别测量室内一点与室外已得知坐标经纬度的两点的距离，得出室内该点的坐标经纬度，从而得到室内该点的真北方向，并将实验室内的方位盘0°刻度指向该方向。

主要计量技术性能等要求：准确度等级为Ⅱ级及以上。

要求确定原因：当全站仪准确度等级为Ⅱ级及以上时，其测距标准差在(3+2D)mm（D单位为km）以内，通过不确定度分析，其贡献的不确定度满足要求，兼顾经济合理的原则。

1. **车速测量系统**

作用和用法：流速计量标准器，用以确定流速标准值。

主要计量技术性能等要求：a) 测量范围不小于(0～150) cm/s；b) 分辨力为0.1 cm/s；c) 最大允许误差不大于1 cm/s。

要求确定原因：a) 测量范围应覆盖目前市面上各厂家、型号海流计的工作流速范围，并适当放大；b) 根据海流计流速示值的分辨力确定标准器的分辨力。c) 流速示值误差校准结果的测量不确定度最主要来源识别为车速测量系统引入的不确定度。参考GB/T 12763.2-2007《海洋调查规范 第2部分：海洋水文观测》“7 海流观测”给出的海流计标称值，当车速测量系统的测量误差不大于1cm/s时，其贡献的计量标准不确定度满足“1/3原则”，兼顾经济合理的原则。

1. **流速校准水槽**

作用：流速主要配套设备之一，与拖车结合，模拟流速环境。

主要计量技术性能等要求：a) 直线明槽，由加速段、稳定段、测量段和制动段组成，两壁上水平安装轨道用于运行流速校准拖车；b) 加速段和制动段的长度应由流速校准拖车的技术指标和海流计在流速校准水槽中的最大速度来决定，制动段的长度必须考虑满足安全需要；c) 流速校准水槽尺寸大小应符合表2要求。

表2 流速校准水槽尺寸要求

单位：m

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 测量段长度 | 水槽净宽 | 水槽净深 |
| ≥96 | ≥2.5 | ≥1.5 |

要求确定原因：参考国家标准GB/T 21699-2008《直线明槽中转子式流速仪检定/校准方法》中的描述，给出了流速校准水槽的结构要求。流速校准水槽的尺寸要求还结合海流计自身尺寸和校准的具体要求给出。按海流计的最高流速1.2m/s计，设加速20s、稳定10s、读数60s，至少需要96m长的测量段；按海流计最大长度1.09m计，规定海流计静水垂直悬浮时顶端距离水面不小于0.10 m，测杆离水底不低于0.20 m，需要至少1.4m。

经调研，国内三家具备直线明槽的海洋专业计量站的直线明槽尺寸如下：国家海洋计量站青岛分站直线明槽的测量段长160m，水槽净宽5m，水槽净深3.5m；国家海洋计量站上海分站直线明槽的测量段长120m（总长170m），水槽净宽4.5m，水槽净深3.5m；国家海洋计量站广州分站线明槽的测量段深水区长60m、浅水区长140m，水槽净宽5m，水槽净深深水区6m、浅水区1.5m。国内三家海洋专业计量站现有的直线明槽满足相关要求，符合经济合理原则。

1. **流速校准拖车**

作用：流速主要配套设备之一，与流速校准水槽结合，模拟流速环境。

主要计量技术性能等要求：a) 速度范围不小于(0～150) cm/s；b) 车速变化率应符合表3要求。

表3 车速变化率

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 速度(cm/s) | ≤10 | 10～50 | ＞50 |
| 车速变化率(%) | ≤2.00 | ≤1.00 | ≤0.60 |

要求确定原因：a) 对应车速测量系统的测量范围，提供相应的速度；b) 车速变化率参考国家标准GB/T 21699-2008《直线明槽中转子式流速仪检定/校准方法》中对检定车的车速变化率的二级要求和计算方法，并参考JJG 628-2019《SLC9型直读式海流计检定规程》、JJG 1166-2019《声学多普勒海流单点测量仪检定规程》中对车速变化率的规定给出。

6.7 校准项目的确定说明

校准项目的选取充分考虑海流计的工作原理、使用环境、海洋调查观测任务的需求等条件，参考GB/T 12763.2-2007《海洋调查规范 第2部分：海洋水文观测》的“7 海流观测”中规定的海流的主要观测要素和计量特性，并参考JJG 628-2019《SLC9型直读式海流计检定规程》和JJG 1166-2019《声学多普勒海流单点测量仪检定规程》，最终选取了流向示值误差、流向示值正、反行程差、流速示值误差、流速示值重复性4个校准项目。选取的校准项目满足在标准条件下评价被校设备的性能的需要，满足在使用条件下评估最终测量结果不确定度的需要。

6.8 校准方法的确定说明

6.8.1 校准前准备

对海流计完整性和密封性的检查、记录周期的设置、使用前的校正、是否处于正常工作和记录状态的检查作出了规定。

6.8.2 流向示值误差和正、反行程差

**1) 流向校准原理**

海流计流向的测量原理为：海流计悬浮于水中、处于工作状态时，当海流的运动对仪器施加一个拖曳力将其倾斜，直到浮力、拖曳力和系绳力三力平衡，使用海流计内置磁力计记录海流计的倾斜方向，经数据处理可将其转换为当前海流的流向。相应地，海流计流向的校准原理为：将海流计倾斜固定安装于方位盘上，模拟海流计的工作状态。通过记录方位盘转动过的角度得到流向标准值，将海流计流向示值减去流向标准值即为流向示值误差，方位盘顺时针转动和逆时针转动同样角度时所得到的流向示值误差之间的差的绝对值即为流向正、反行程差。

1. **校准点的选择**

校准点的设置参考JJG 628-2019《SLC9型直读式海流计检定规程》和JJG 1166-2019《声学多普勒海流单点测量仪检定规程》，从方位盘读数0°开始，每隔30°一个校准点，可以在较为全面的同时高效地反映海流计在各个流向时的性能。

6.8.3 流速示值误差和流速示值误差重复性

**1) 流速校准原理**

海流计流速的测量原理为：海流计悬浮于水中、处于工作状态时，当海流的运动对仪器施加一个拖曳力将其倾斜，直到浮力、拖曳力和系绳力三力平衡，使用海流计内置加速计记录海流计的倾斜角度，经数据处理可将其转换为当前海流的流速。相应地，海流计流速的校准原理为：通过流速校准拖车和流速校准水槽提供稳定的速度，使得海流计与水槽中的水处于一定速度的相对运动，模拟不同的海水流速。车速测量系统测得的速度为流速标准值，海流计流速示值与流速标准值之差即为流速示值误差，示值误差重复性则以实验标准差的形式、通过贝塞尔公式计算可得。

**2) 布放方式**

海流计的工作状态为在水中悬浮、直到海流的运动对仪器施加拖曳力，而校准过程中流速由流速校准拖车配合流速校准水槽提供，因此流速校准拖车须设置一具有一定的强度和刚度、与流速校准水槽的宽边平行的入水横杆，用于布放海流计。横杆入水，静水垂直悬浮的海流计时距离水面、水底皆应有一定距离，以避免水面波的影响。根据现场试验，流计静水垂直悬浮时顶端距离水面不小于0.10 m，横杆离水底不低于0.20 m时，水面波的影响足够小。

1. **静水时间**

流速校准前需要一定的静水时间，待流速校准水槽水面相对静止后方可进行校准。参考GB/T 21699-2008《直线明槽中转子式流速仪检定/校准方法》，在每次校准前，水槽中的水体应处于相对静止状态，与下次校准速度相比，其扰动状态可以忽略时再行车；如采用连续加速的方式，可不设静水时间；如下次校准速度明显低于上次校准速度，则必须有静水时间。根据GB/T 21699-2008《直线明槽中转子式流速仪检定/校准方法》的建议，将静水时间规定为10分钟。

1. **校准点的选择**

为满足不同使用场景和使用需求，不同厂家、型号的海流计的流速测量范围差别较大（如Marotte HS的测量范围为(5～120)cm/s，TCM-1的测量范围为(0～40)m/s和(0～80)cm/s两档，TCM-3的测量范围为(0～80)cm/s，TCM-4和TCM-5的测量范围为(0～50)cm/s等），因此，本规范未规定具体的校准点，而是可根据仪器的实际工作用要求在仪器测量范围内至少选取6个校准点，通过实验验证，可以较为全面地反映海流计流速性能。

6.9 复校时间间隔建议的确定说明

仪器复校时间间隔的长短是由仪器的稳定性等自身质量情况和使用情况决定，仪器使用者可根据实际情况自主决定复校时间，校准规范不应给出规定的复校间隔，本规范根据实践经验，建议复校时间不超过1年。新购置或更换或经过调试维修后的海流计应及时进行校准。

参考文献

[1] Marchant, R., Stevens, T., Choukroun, S., Coombes, G., Santarossa, M., Whinney, J., & Ridd, P. (2013). A buoyant tethered sphere for marine current estimation. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 39(1), 2-9.

[2] Figurski, J. D., Malone, D., Lacy, J. R., & Denny, M. (2011). An inexpensive instrument for measuring wave exposure and water velocity. Limnology and oceanography: Methods, 9(5), 204-214.

[3] Sheremet, V.A. (2009). Observations of near-bottom currents with low-cost SeaHorse tilt current meters. [Online]. [Accessed 1 November 2023]. Available from: https://archive.org/details/DTIC\_ADA527129.

[4] Sheremet, V. A. (2010). SeaHorse tilt current meter: inexpensive near bottom current measurements based on drag principle with coastal applications. Eos Trans. AGU, 91(26).

[5] Lowell, N. S., Walsh, D. R., & Pohlman, J. W. (2015). A Comparison of tilt current meters and an acoustic doppler current meter in Vineyard Sound, Massachusetts. In 2015 IEEE/OES Eleveth Current, Waves and Turbulence Measurement (CWTM).

[6] Hansen, A. B., Carstensen, S., Christensen, D. F., & Aagaard, T. (2017). Performance of a tilt current meter in the surf zone. Coast. Dynam, 218, 944-954.